

**VŠB-Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a
informatiky
Katedra elektroniky**

**Návrh a realizace vybraných pohonů
s krokovými motory
Design and Implementation of Selected
Actuators with Stepper Motors**

2012

Bc. Jakub Řehák

VŠB – Technická univerzita Ostrava
Fakulta elektrotechniky a informatiky
Katedra elektroniky

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Jakub Řehák**
Studijní program: **N2649 Elektrotechnika**
Studijní obor: **2612T015 Elektronika**
Téma: **Návrh a realizace vybraných pohonů s krokovými motorky**
Design and Implementation of Selected Actuators with Stepper Motors

Zásady pro vypracování:

1. Proveďte rešerši dostupných pohonů s krokovými motorky malého a středního výkonu.
2. Specifikujte možnosti použití těchto motorků v oblastech průmyslové a lékařské elektroniky.
3. Na základě pokynů vedoucího diplomové práce navrhnete praktickou aplikaci s vybranou pohonovou jednotkou.

Seznam doporučené odborné literatury:

Dle pokynů vedoucího diplomové práce.

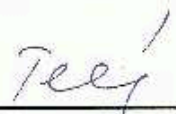
Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí diplomové práce: **Ing. Václav Sládeček, Ph.D.**

Datum zadání: 18.11.2011


Datum odevzdání: 04.05.2012




doc. Ing. Petr Palacký, Ph.D.
vedoucí katedry


prof. RNDr. Václav Snášel, C.Sc.
děkan fakulty

„Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně.
Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.“

A handwritten signature in black ink, consisting of stylized, cursive letters.

V Ostravě 4. 5. 2012

.....

Podpis

Poděkování

Chtěl bych poděkovat vedoucímu diplomové práce panu Ing. Václavu Sládečkovi, Ph.D. a Ing. Josefu Říhákovi za cenné připomínky, vstřícnou spolupráci a trpělivost.

Abstrakt

V první části diplomové práce se zabývám dostupnými pohony s krokovými motory malého a středního výkonu, kde tyto pohony od jednotlivých firem porovnávám. V další části popisuji využití krokových pohonů v lékařské elektronice jako např. v chirurgických nebo terapeutických zařízeních. Stěžejní část práce tvoří návrh praktické realizace s vybranou pohonnou jednotkou. Jedná se o řízení polohy válce linky s krokovým pohonem.

Klíčová slova

Krokový pohon, krokový motor, výkonová jednotka, programovatelná jednotka, MICROCON, JMF, POLOLU, CNCSHOP, RMS Technologies, RAVEO, CNCNET, převodovka, pružná spojka, Intrakorporální video sonda, Laparoskopická chirurgie, CMP terapie.

Abstract

I deal with the available actuators with stepper motors of small and medium power in the first part of the thesis, where I try to compare those drives from individual companies. I specify the use of stepper drives in medical electronics for example in surgical or therapeutic device in the second part. I propose practical realization with selected drive unit in the principal part. This is a control position of cylinder line with stepper actuator.

Key words

Stepper actuator, stepper motor, motor driver, motor controllers, MICROCON, JMF, POLOLU, CNCSHOP, RMS Technologies, RAVEO, CNCNET, transmission, flexible coupling, Intracorporeal video probe, Minimally invasive Surgery, CMP therapy.

Seznam použitých symbolů a zkratek

M_s – Statický moment

β – Statický úhel zátěže

M – Mezní rozběhový moment

Φ - Velikost kroku

m – Počet fází vinnutí statoru

N – Počet zubů rotoru

M_z – Zátěžový moment

J_z – Moment setrvačnosti zátěže

M_h – Pohybová rovnice pohonu

M_d – Dynamický moment

ω – Úhlová rychlost

i – Převodový poměr

P – Vstupní výkon motoru

M_2 – Výstupní moment na převodovce

η - účinnost převodovky

Obsah:

1	Úvod:	1
2	Krokové pohony	2
2.1	Základní pojmy:	2
2.2	Druhy a řízení krokových motorů	5
3	Pohony s krokovými motory	6
3.1	Průzkum trhu	6
3.2	Programovatelné jednotky malého výkonu	8
3.3	Výkonové jednotky malého výkonu	12
3.4	Programovatelné jednotky středního a vyššího výkonu	16
3.5	Výkonové jednotky středního a vyššího výkonu	17
3.6	Krokové motory s integrovanou elektronikou	20
3.7	Zhodnocení pohonů od jednotlivých firem	22
3.7.1	Microcon	22
3.7.2	JMF	22
3.7.3	CNCNET	22
3.7.4	CNCSHOP	22
3.7.5	RMS Technologies	23
3.7.6	POLOLU	23
3.7.7	RAVEO	23
4	Krokové motorky pro lékařské a klinické aplikace	24
4.1	Elektrické motory a pohony	24
4.2	Kapsle pro endoskopii	25
4.2.1	Princip činnosti	26
4.3	Robotická chirurgie	26
4.3.1	Laparoskopická chirurgie	26
4.4	Terapeutické zařízení	28
4.4.1	CMP Terapie pomocí motodlahy	28
5	Využití krokových motorů ve strojírenském průmyslu	29
5.1	Řízení polohy válce pomocí krokového pohonu	29
5.2	Popis zařízení	30
5.3	Návrh hardware	31
5.4	Silové spínání	32
5.5	Mikroprocesor	33
5.6	Volba výkonové jednotky	34

5.7	Návrh krokového motoru, pružné spojky a převodovky	34
5.7.1	Volba krokového motoru, pružné spojky a převodovky.....	37
5.7.2	Pružná spojka.....	37
5.7.3	Převodovka	38
5.8	Vizualizační návrh celého ústrojí.....	40
6	Návrh řídicího software	42
6.1	Vývojový diagram pro řízení krokového motoru	43
6.2	Vývojový diagram pro řízení asynchronního motoru	45
7	Závěr:.....	46

SEZNAM PŘÍLOH

A1 – Obvodové zapojení silového spínání

A2 – Deska plošného spoje s.s.

A3 – Osazovací plán s.s.

A4 – Seznam součástek s.s.

B1 – Zapojení výkonové jednotky

C1 – Fotografie zapojení silového spínání

C2 – Fotografie zapojení výkonové a řídicí jednotky

C3 – Fotografie kompletní automatizace linky

D1 – Zdrojový soubor

1 Úvod:

V oboru elektrických pohonů, tak jako v jiných odvětvích elektrotechniky, dochází v průběhu posledních let k rozvoji použití krokových pohonů, které má stále stoupající tendenci.

Určujícím momentem pro oprávněnost tvrzení, že krokové motory mají reálnou perspektivu použití, jsou nejen jejich vlastnosti, které odpovídají současným technickým nárokům pohonářských aplikací, ale i využití mikroelektroniky, její nasazení a stále příznivější cenová relace.

Krokový pohon, jak bude dále popsán, tvoří v podstatě dvě části: krokový motor a elektronický ovladač. Krokový motor je řízen ovladačem. Úroveň užitečných parametrů krokového pohonu je při použití jednoho a téhož krokového motoru určena funkční dokonalostí ovladače.

Krokový pohon a hlavně možnost jeho využití je tedy příkladem důsledku působení elektronizace v současné pohonářské praxi.

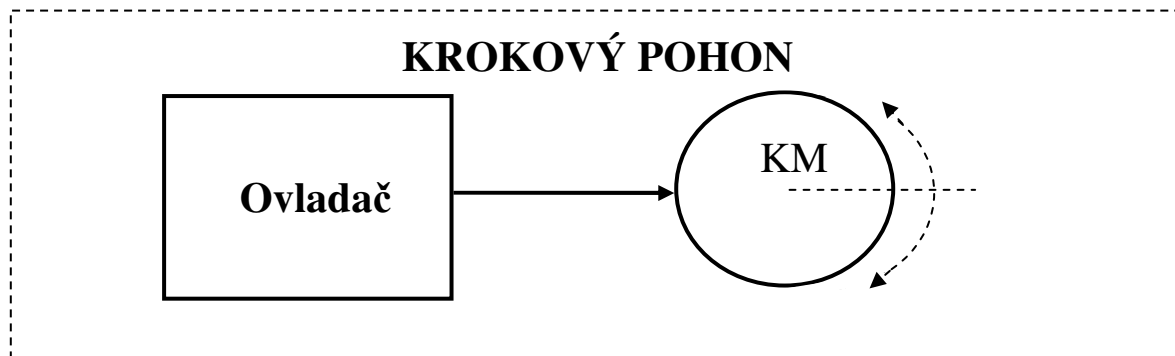
Protože krokové motory jsou pohonářskými prvky s širokou škálou využitelných vlastností i hodnot parametrů, jsou možnosti jejich využití velmi široké. Největší perspektivou využití z hlediska objemu potřeby mají zatím v oboru periférií počítačů a automobilovém průmyslu. Najdeme je i v pohonech některých obráběcích strojů, v laboratorních a lékařských přístrojích a v různých technologických zařízeních.

V této diplomové práci se dále budu zabývat dostupnými krokovými pohony, jejich vlastnostmi a využitím ve strojním a lékařském průmyslu.

2 Krokové pohony

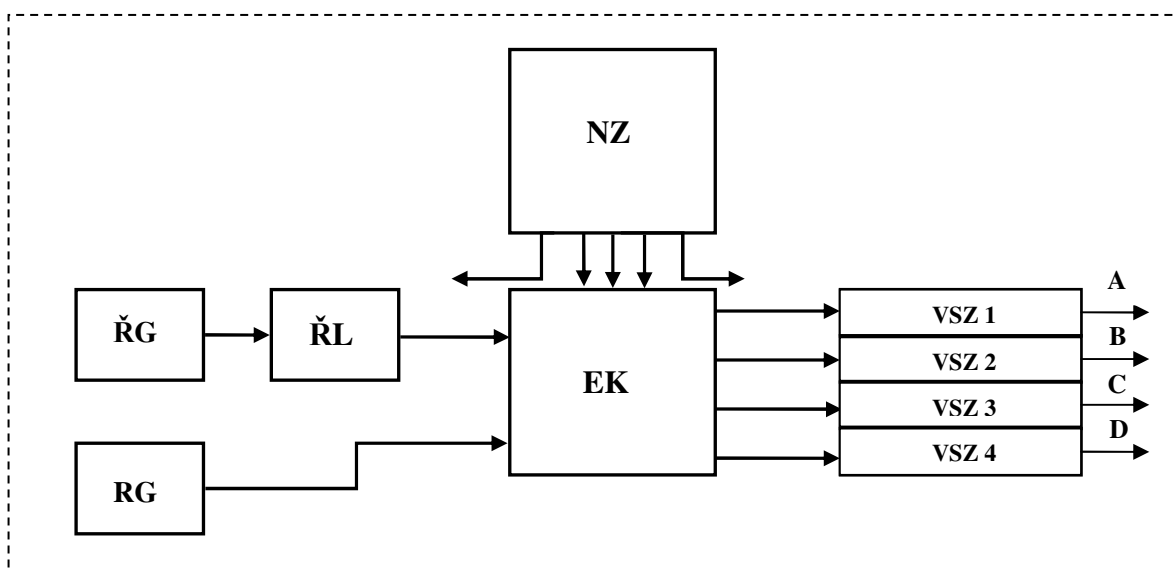
2.1 Základní pojmy:

- **Krokový pohon** je zařízení, které se skládá z ovladače a krokového motoru, mezi nimiž je elektrické spojení.



Obr. 1 Krokový pohon

Elektronický ovladač krokového motoru je elektronický přístroj, který řídí funkční pohyb a režimy chodu krokového motoru v závislosti na přivedené vstupní informaci. Hlavní funkční části ovladače jsou zpravidla elektronický komutátor a výkonový spínací zesilovač. Další části může být řídicí logika, generátor řídicího či rezervačního signálu i mikropočítač. [6]

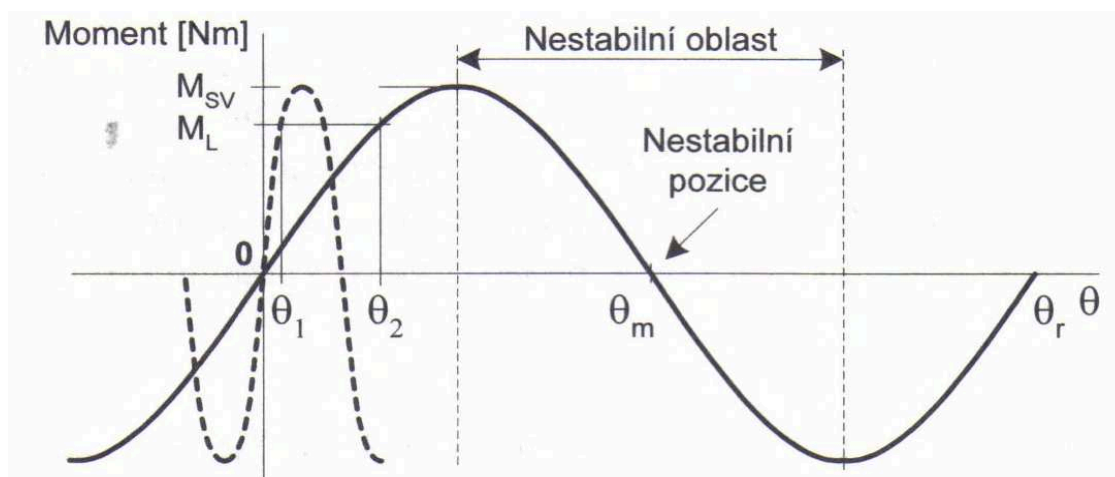


Obr. 2 Základní uspořádání ovladače

kde, ŘG – generátor řídicího signálu, ŘL – řídicí logika, RG – generátor rezerv. signálu
EK – elektronický komutátor, VSZ 1 až 4 – výkonové zesilovací stupně

Na vstup elektronického komutátoru se přivádí z řídicích obvodů impulsní signál. Elektronický komutátor zpracuje signál a řídí koncové spínací zesilovače tak, aby jednotce řídicí informace odpovídalo natočení motoru o jeden krok. Reversační signál řídí smysl otáčení krokového motoru.

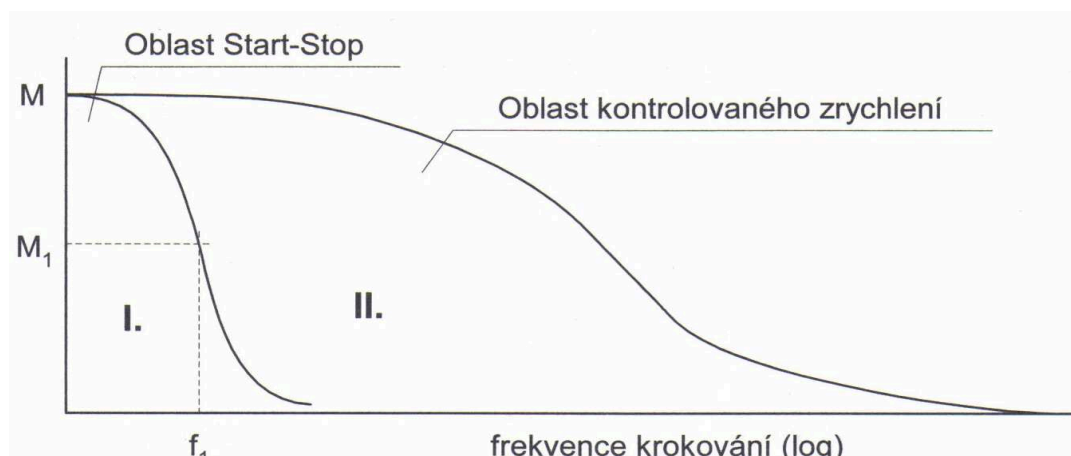
- **Magnetická klidová poloha** znamená, že rotor je ideálně sesouhlasen s polohou statorového magnetického pole.
- **Statický moment** je moment motoru, který je v rovnováze s kroučícím momentem působícím na hřídel stojícího nabuzeného krokového motoru a vychylujícím rotorem z magnetické klidové polohy o statický úhel zátěže. Značí se M_s .
- **Statická momentová charakteristika** znázorňuje soubor hodnot M_s v závislosti na statickém úhlu zátěže β .



Obr. 3 statická momentová charakteristika [11]

- **Statický vazební moment** je největší statický moment, který se rovná kroučícímu momentu, jimž lze působit na hřídel stojícího nabuzeného krokového motoru, aniž by došlo k roztržení magnetické vazby. Značí se M_{sv} .
- **Statický úhel zátěže** je úhel, o který se vychýlí rotor nabuzeného krokového motoru z magnetické klidové polohy při dané zátěži na hřídeli krokového motoru. Značí se β .

- **Momentová charakteristika** je oblast možných zátěží krokového motoru a takových kmitočtů kroků, na které se musí motor rozběhnout a z nich zastavit bez ztráty kroku i v případě, že rychlost změny řídicího kmitočtu není omezena.



Obr. 4 momentová charakteristika [11]

Oblast I. start–stop. Rozběhová charakteristika krokového motoru. Oblast II. provozní. Té dosáhne krokový motor při plynulém zvyšování řídicí frekvence. Sice je to složitější způsob, ale umožňuje krokový motor lépe využít.

- **Přidrzný moment** je maximální moment, kterým může být staticky zatížena hřídel vybuzeného motoru, aniž by se začala plynule otáčet.
- **Mezní rozběhový kmitočet** je nejvyšší řídicí kmitočet, při kterém se krokový motor musí rozběhnout a zastavit bez ztráty kroku. Značí se f [Hz].
- **Mezní rozběhový moment** je největší zátěžný moment, který krokový motor překoná při daném rozběhovém kmitočtu a určitém momentu setrvačnosti připojeném na hřídeli. Značí se M [N.m]. [6]
- **Velikost kroku** je jmenovitý úhel, daný konstrukcí a způsobem ovládání motoru, který odpovídá změně polohy rotoru po zpracování jednoho řídicího impulsu. Značí se Φ [°]. [12]

$$\Delta\Phi = \frac{2\pi}{m \cdot N} \text{ [}^\circ\text{]} \quad (1.1)$$

kde m je počet fází vinutí statoru a N je počet zubů rotoru.

2.2 Druhy a řízení krokových motorů

Krokové motory:

- S pasivním rotorem: někdy označované jako reakční či reluktanční. Jsou to motorky s vyjádřenými póly na statoru a rotoru, využívající výrazně rozdílné magnetické reluktance.
- S aktivním rotorem: rotor obsahuje magneticky aktivní část – permanentní magnet. Rozlišují se:
 - s radiálně polarizovaným per. magnetem,
 - s axiálně polarizovaným per. magnetem.

Dle počtu kroků na jednu periodu přiváděných řídicích impulsů se dále dělí na:

- 4-taktní – perioda má čtyři takty,
- 8-taktní – perioda má osm taktů,
- N-taktní – perioda má N taktů.

Další dělení je také dle počtu fází, které jsou současně buzeny:

- magnetizace jedné fáze – proud je přiváděn do jedné fáze,
- magnetizace dvou fází – proud je přiváděn do dvou fází současně.

Způsoby řízení krokových motorů:

- unipolární řízení - na vinutí se vždy přivádí proud pouze jedné polarity,
- bipolární napájení - na vinutí se může přivést proud obou polarit, což umožňuje lepší využití krokového motorku. [12]

3 Pohony s krokovými motory

3.1 Průzkum trhu

V dnešní době existuje celá řada jak tuzemských, tak celosvětových firem, zabývajících se vývojem a výrobou pohonů s krokovými motorky. V diplomové práci uvádím stručný výčet pohonů s krokovými motory.

- **Microcon**

Firma Microcon vznikla v roce 1991. Z počátku se firma soustředila na vývoj a výrobu programovatelného řízení krokových motorů. Sortiment byl brzy rozšířen o nabídku krokových motorů i dalších mechanických komponentů jako např. (pružné spojky, posuvové šrouby, lineární vedení, šnekové převodovky a napájecí zdroje). [7]

- **JMF**

Firma JMF se specializuje především na vývoj a výrobu pohonů s krokovými motory. JMF dodává kompletní pohony včetně řídicí části a krokových motorů. Především se zabývá vývojem a výrobou koncových stupňů. Koncový stupeň sestává z výkonového modulu MKP a řídicího modulu MSCx. Všechny jednotky jsou určeny k řízení dvoufázových motorů s aktivním rotorem.

- **CNCNET**

- **CNCSHOP**

CNCSHOP je tuzemským distributorem výkonových jednotek pro krokové pohony firmy Leadshine Technology Co., Ltd. Tato firma se také zabývá výrobou a vývojem krokových motorů a jiných technologií.

- **RMS TECHNOLOGIES**

Cílem firmy RMS TECHNOLOGIES je inovace řídicích systémů, vývoj kompletních integrovaných zařízení včetně „designu“ v oblasti pohonů s krokovými motory.

- **POLOLU ROBOTICS & ELECTRONICS**

Firma byla založena v roce 2000. Hlavními produkty firmy POLOLU jsou malé elektronické moduly pro řízení robotů. Dále nabízejí mechanické komponenty pro laserové nože, 3D tiskárny a mnoho dalších komponentů, které doplňují jejich produkty. Firma POLOLU sídlí v USA, ale má mnoho dodavatelů po celé zemi i v České republice.

- **RAVEO**

Společnost RAVEO s.r.o. působí na českém a slovenském trhu, kde nabízí komponenty pro pohonnou techniku. Zaměřuje se na průmyslové aplikace, kde je vyžadován pohyb a polohování. [3]

3.2 Programovatelné jednotky malého výkonu

V následující části srovnávám jednotlivé kompletní pohony s integrovaným řízením malého výkonu (do 200W) od firem, které jsem popsal výše.

- **Microcon**

Programovatelné jednotky obsahují řídicí část realizovanou kontrolerem M1486 i výkonovou část pro bipolární napájení krokového motoru. Standardně jsou jednotky osazeny kontrolerem M1486E1 s vnitřní pamětí pro povely EEPROM 2000 bitů. Kontroler je ovládán jednoduchými ASCII povely po sériové lince.

Základní charakteristika M1486:

- uživatelsky přátelský výkonný soubor více než 50 povelů,
- provádění povelů OFF-line,
- programovatelná maximální rychlost, START/STOP rychlost a zrychlení,
- plynulé zrychlení a dojezd,
- rychlost do 40 000 kroků/sec,
- délka dráhy až 16 milionů kroků.

- **Jednotky CD30x, CD40x**

- Uživatelské vstupy a výstupy:
10 galvanicky oddělených uživatelských vstupů,
standardní úroveň vstupů 0; 24V,
4 galvanicky oddělené uživatelské výstupy s otevřeným kolektorem (do 30V).
- Možné připojení sériové linky.
- Signalizace stavů vstupů, výstupů a napájení pomocí LED. [7]



Obr. 5 Programovatelná jednotka CD30x [7]

o Jednotky CD30M, CD40M

- Uživatelské vstupy a výstupy:

5 galvanicky oddělených uživatelských vstupů, z toho jeden vstup „limit“ slouží pro přerušení běhu motoru také mimo rychlost start/stop. Standardní úroveň vstupů 0; 24V. Volitelně 0; 5V.

4 uživatelské výstupy s otevřeným kolektorem (do 30V). Přídavný 24V výstup. Volitelná signalizace pohybu motoru pomocí uživatelského výstupu.

- Možné připojení sériové linky.

o Jednotky CD34M

- Uživatelské vstupy a výstupy:

8 galvanicky oddělených uživatelských vstupů.

Standardní úroveň vstupů 0; 24V, volitelně 0; 5V,

4 uživatelské výstupy s otevřeným kolektorem (do 30V). Přídavný 24 V výstup. Standardní napěťová úroveň 0; 24V.

- Signalizace pohybu motoru pomocí uživatelského výstupu.

- Možné připojení sériové linky.



Obr. 6 programovatelné jednotky: CD30M, CD40M (vlevo), CD34M (vpravo) [7]

- **JMF**

Modulové koncové stupně MKP-MSCx jsou určeny k řízení dvoufázových krokových motorů s aktivním rotorem s mikrokrokovacím režimem. Řídící část je realizována kontrolerem M1486 od firmy Microcon. Všechny moduly umožňují připojení sériové linky.

- **MKP1 - MSCx**

- Uživatelské vstupy a výstupy:
8 galvanicky oddělených uživatelských vstupů,
napětí logiky volitelně 5, 12, 24V,
4 galvanicky oddělené výstupy.
- Pulsní regulace proudu.
- Signalizace stavů vstupů,
výstupu, pohybu motoru a
napájení pomocí LED.



- Nadproudová a tepelná ochrana. [2] *Obr. 7 Programovatelná jednotka MKP1 - MSCx*

- **MKP3 – MSCx**

- Uživatelské vstupy a výstupy:
6 galvanicky oddělených uživatelských logických vstupů, napětí logiky 11 – 13V,
4 galvanicky oddělené výstupy.
- Nadproudová a tepelná ochrana. [2]



Obr. 8 Programovatelná jednotka MKP3 - MSCx

- **RMS TECHNOLOGIES**

- **R356**

- Uživatelské vstupy a výstupy:
4 galvanicky oddělené uživatelské vstupy,
2 vstupy pro přímé řízení koncových spínačů (směr a rychlost),
log. 1 5 – 24V.
- Plně programovatelné nastavení amplitudy proudu, proudu po zastavení motoru, rychlosti a zrychlení.
- Možnost připojení encoderu.
- 16 možných adres s vnitřní pamětí pro povel 4000 bitů.
- Možnost připojení sériové linky.



Obr. 9 Programovatelná jednotka R356 [4]

Parametry výkonové části						
	CD30x	CD40x	CD34M	MKP1 MSCx	MKP3 MSCx	R356
Napájecí napětí [VDC]	12 – 48	12 - 48	12 - 48	30	24 - 50	12 - 40
Amplituda proudu [A]	0,4 – 3,3	0,4 – 4	0,4 – 3,5	0,1 - 1	1 - 3	3
Nastavení proudu (počet nastavení)	16	16	16	16	16	plynule
Max. počet mikrokroků na celokrok	16	16	16	16	2	256
Automatické snížení proudu po zastavení motoru	ANO	ANO	ANO	ANO	ANO	ANO
Možnost programového vypnutí koncového stupně	ANO	ANO	ANO	ANO	ANO	ANO
Vstupní pulsy [kHz]	40	40	40	40	40	250

Tab. 1 parametry výkonových částí jednotlivých pohonů

3.3 Výkonové jednotky malého výkonu

Výkonové stupně slouží pro bipolární napájení krokových motorů s možností mikrokrokování. Obsahují tzv. sequencer. Sequencer přijímá signály *Pulsy* a *Směr* a převádí je na digitální hodnoty proudu pro obě fáze krokového motoru. Výkonové stupně jsou využívány v aplikacích, kde uživatel preferuje vlastní řízení.

- **JMF**

- **KP05**

- 4/8 taktní řízení provozu,
 - vstupní signály log. 1 5 - 24V,
 - vestavěný usměrňovač a filtrace napájení,
 - možnost vestavění převodníku napětí/frekvence,
 - externí blokování převodníku napětí/frekvence.

- **KP4**

- Vstupní signály log. 1 5 - 24V,
 - externí nastavení proudu,
 - impulsní řízení proudu,
 - nadproudová ochrana.

- **KP4M**

- Vstupní signály log. 1 5 - 24V,
 - externí ovládání dělení kroku,
 - externí nastavení proudu,
 - impulsní řízení proudu,
 - nadproudová a tepelná ochrana.

- **CNCNET**

- **BISTEP**

- Uživatelské vstupy a výstupy:
3 galvanicky oddělené uživatelské logické vstupy. Vyvedeny anody i katody optočlenů. Z toho jeden vstup „break“ slouží pro odpojení jednotky od motoru a zkratuje jeho vývody.
 - Vyvedeno napájecí napětí 5V.
 - Impulsní řízení proudu.
 - Nadproudová i tepelná ochrana.
 - Napájecí napětí logiky 3 – 5V.

- **PROFISTEP**

- Uživatelské vstupy:
3 galvanicky oddělené uživatelské oddělené vstupy. Z toho jeden vstup „break“.
 - Vyvedeno napájecí napětí 5V.
 - Automatická redukce proudu po zastavení motoru.
 - Impulsní řízení proudu.
 - Nadproudová i tepelná ochrana.
 - Napájecí napětí logiky 3 – 5V.



Obr. 10 výkonové stupně: BISTEP (vlevo), PROFISTEP (vpravo) [14]

- **CNCSHOP**

- **DM422C**

- Uživatelské vstupy:

4 galvanicky oddělené uživatelské vstupy. Z toho vstup „enable“ slouží pro vypnutí/zapnutí jednotky. Vstupní signály log. 1...5, 12, 24V.

- Možnost programového nastavení proudu a mikrokrokování.
 - Nadproudová, přepětíová a fázová ochrana. Indikace pomocí LED.
 - Automatická redukce proudu po zastavení motoru.
 - Možnost připojení sériové linky.

- **M542**

- Uživatelské vstupy a výstupy:

4 galvanických oddělené vstupy. Vyvedeny jak katody, tak anody optočlenů.

Vstup „enable“. Vstupní signály log. 1....5, 12, 24V.

- Ochrana proti zkratu na výstupu, podpětí a přepětí napájecího napětí. Indikace pomocí LED.
 - Vynikající sinusový průběh proudu pro plynulý provoz motoru.
 - Automatická redukce proudu po zastavení motoru.

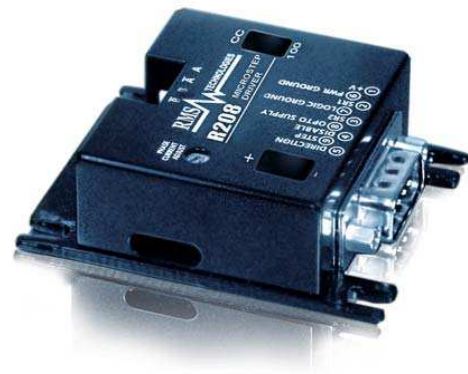


Obr. 11 výkonové stupně: DM422C (vlevo), M542 (vpravo) [1]

- **RMS**

- **R208**

- Uživatelské vstupy a výstupy:
4 galvanicky oddělené uživatelské vstupy, vstup „enable“, log. 1 5 – 24V.
- Programovatelné nastavení amplitudy proudu, proudu po zastavení motoru, rychlosti a zrychlení.
- Tepelná a podpěťová ochrana.
- Vynikající sinusový průběh proudu.
- Indikace pomocí LED.
- Možnost čtení náběžné nebo sestupné hrany pulsu každého kroku. [4]



Obr. 12 výkonový stupeň R208

- **POLOLU**

- **A4988**

- Uživatelské vstupy a výstupy:
5 uživatelských vstupů, z toho vstup „enable“, „sleep“ a „reset“, log. 1 3,3V a 5V.
- Napájení logických vstupů 3 – 5,5V.
- Impulsní řízení proudu.
- Tepelná, podpěťová a nadproudová ochrana.
- Protizkratová ochrana.
- Kontrola, která automaticky vybere redukci proudu po zastavení motoru (rychlá nebo pomalá). [5]



Obr. 13 výkonový stupeň A4988

Výkonové jednotky	Napájecí napětí [V]	Amplituda a proudu [A]	Nastavení proudu (počet)	Max. počet mikrokroků na celokrok	Max. vstupní pulsy [kHz]
KP05	8 – 19 AC 9- 25 DC	0,5	-	2	20
KP4	24 - 48	2 - 4	plynule	2	20
KP4M	35 - 50	1 - 4	plynule	256	300
BISTEP	12 - 48	0,5 - 3	5	5	32
PROFISTEP	12 - 48	0 - 3	12,5	12,5	65
DM422C	20 - 36	2,2	8	32	75
M542	20 - 56	4,2	8	128	300
R208	12 - 24	2	plynule	8	25
A49988	8 - 35	2	plynule	16	500

Tab. 2 parametry výkonových částí jednotlivých pohonů

3.4 Programovatelné jednotky středního a vyššího výkonu

- **Microcon**

- **Jednotky CD6410M**

- Uživateléské vstupy a výstupy:

14 galvanicky oddělených uživatelských vstupů,

Standardní úroveň vstupů 0; 24V,

6 uživatelských výstupů s otevřeným kolektorem (do 30V), přídatný 24V výstup.

- Možné připojení sériové linky.



Obr. 14 programovatelné jednotka CD6410M

- Volitelná signalizace pohybu motoru pomocí uživatelského výstupu.
- Oddělené napájení řídicí části (24 VDC) a výkonové části (65 VDC) pro větší odolnost proti rušení.

- **JMF**

- **MKP15 – MSCx**

- Uživatelské vstupy a výstupy:
8 galvanicky oddělených uživatelských logických vstupů,
4 galvanicky oddělené výstupy.
- Nadproudová a tepelná ochrana.
- Napájecí napětí logiky 11 – 13 V.
- Vstupní signály log. 1 5 - 24 V.



Obr. 15 MKP15 - MSCx

Výkonová část	Napájecí napětí [V]	Amplituda a proud [A]	Nastavení proudu (počet)	Max. počet mikrokroků na celokrok	Programové vypnutí koncového stupně
CD6410M	24 - 65	0,9 – 7,5	8	256	ANO
MK15 - MSCx	24 - 50	4 - 15	plynule	256	ANO

Tab. 4 parametry výkonových částí jednotlivých pohonů

3.5 Výkonové jednotky středního a vyššího výkonu

- **Microcon**
 - **6410 – 001**
 - **ZMP – Mini**
- **JMF**
 - **KP8**
 - **KP10M**

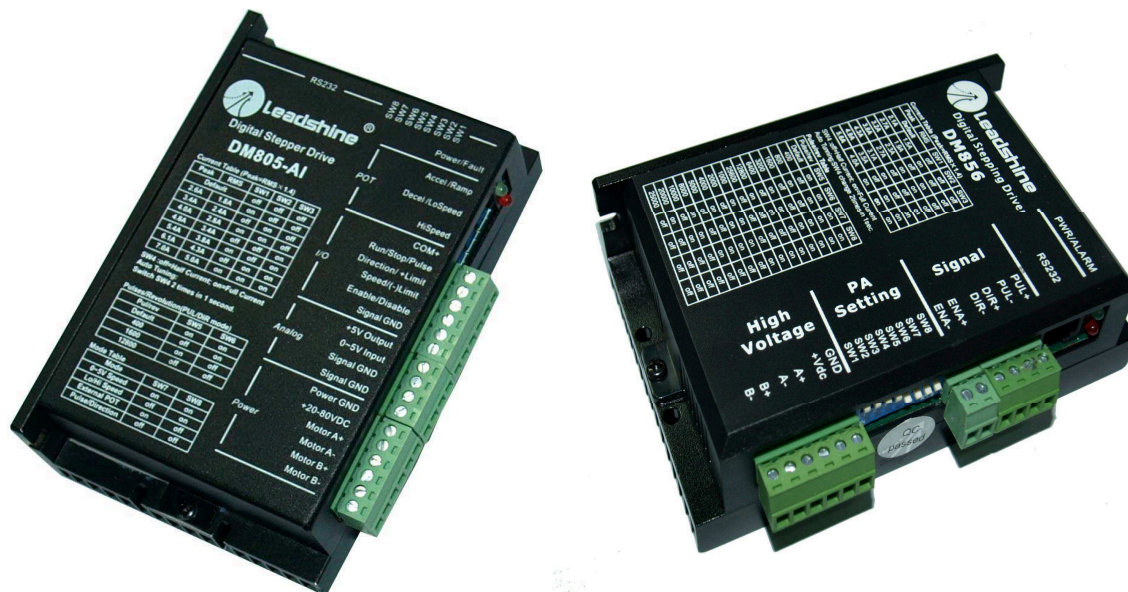
- **CNCSHOP**

- **DM856**

- Uživatelské vstupy a výstupy:
4 galvanicky oddělené vstupy, vyvedeny jak anody, tak katody optočlenů.
Vstup „enable“. Vstupní signály log. 1....5, 12, 24V.
- Automatická redukce proudu po zastavení motoru.
- Možnost programového nastavení proudu a mikrokrokování.
- Možnost připojení sériové linky.
- Nadproudová, přepět'ová a fázová ochrana. Indikace pomocí LED.

- **DM805 – AI**

- Uživatelské vstupy a výstupy:
tři vestavěné potenciometry pro přednastavení rychlosti, zrychlení a zpomalení.
6 digitálních galvanicky oddělených vstupů a 4 analogové výstupy.
- Možnost práce ve 4 režimech:
 - Režim „speed mode“. V tomto režimu se motor otáčí směrem podle vstupu „direction“. Rychlost otáček je dána analogovým vstupem 0 – 5V. Rychlost lze nastavit „highspeed“ potenciometrem.
 - Režim „low/high“. V tomto režimu se motor řídí podle digitálního vstupu. Když je digitální vstup nízké úrovně, je maximální rychlost otáček dána nastavením potenciometru „low“ 5 ot/s. Když je digitální signál vysoké úrovně, je maximální rychlost otáček dána nastavením potenciometru „high“ 25 ot/s.
 - Režim „potentiometer mode“. V tomto režimu je rychlost otáček motoru závislá na analogovém vstupu 0 – 5V. Je nastavena pomocí potenciometru „high“. Směr otáčení je dán nastavením externího potenciometru.
 - Režim „pulse/direction“. Standardní režim. Rychlost otáček je řízeno frekvencí spínání. Mikrokrokování nastaveno pomocí spínačů SIP.
- Vyvedeno 5 V výstup pro uživatele.
- Možnost připojení sériové linky.
- Možnost programového nastavení proudu a mikrokrokování.
- Nadproudová, přepět'ová a fázová ochrana. Indikace pomocí LED.



Obr. 17 výkonové stupně: DM805 (vlevo), DM856 (vpravo) [1]

- RMS

- R701

- Uživatelské vstupy a výstupy:
4 galvanicky oddělené uživatelské vstupy, vstup „enable“,
log. 1 5 – 24V.
- Automatická redukce proudu po
zastavení motoru.
- Externí nastavení proudu.
- Možnost snížení hluku a vibrací pomocí
trimru.
- Vynikající sinusový průběh proudu pro
plynulý provoz.



Obr. 18 výkonový stupeň R701 [4]

Výkonové jednotky	Napájecí napětí [V]	Amplituda proudu [A]	Nastavení proudu (počet)	Max. počet mikrokroků na celokrok	Max. vstupní pulsy [kHz]
6410 - 001	24 – 65	0,9 – 7	8	250	
ZMP - Mini	40 - 140	2,8 - 14	plynule	5	
KP8	24 - 48	2 - 8	plynule	2	20
KP10M	35 - 50	2 - 10	plynule	256	300
DM856	20 - 80	5,6	8	128	200
DM805AI	18 - 80	7	8	512	200
R701	24 - 80	7	plynule	10	200

Tab. 5 parametry výkonových částí jednotlivých pohonů

3.6 Krokové motory s integrovanou elektronikou

- **RMS**

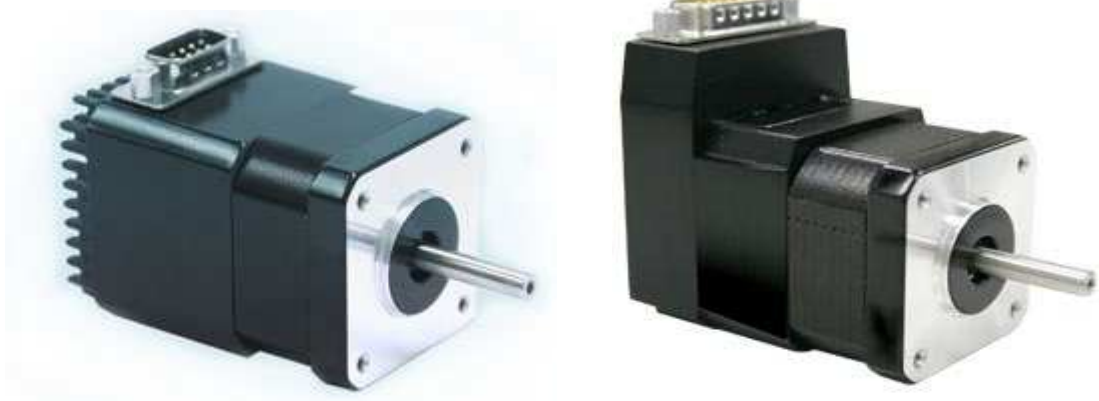
- **SilverPak 17CE**

- Krokový motor s budičem, řízením a encodérem,
- krokový motor velikosti NEMA 17, 1,8 stupně,
- dva digitální I/O a dva vyhrazené vstupy,
- přepínání režimů - provádění, stop, čekání,
- vstupy pro externí optické spínače,
- dojezd do „home“ pozice optického spínače,
- programovatelné nastavení amplitudy proudu, proudu po zastavení motoru rychlosti a zrychlení,
- RS 485 komunikační sběrnice,
- 16 možných adres s vnitřní pamětí pro povely 4000 bitů.

- **SilverPak 17T**

- Krokový motor s integrovaným řízením, budičem a funkcí „stallguard“,
- krokový motor velikosti NEMA 17, 1,8 stupně,
- dva digitální koncové spínače,

- jeden digitální a analogový vstup,
- funkce „stallguard“ – detekování ztráty kroku na základě měření proudu protékajícím motorem,
- vnitřní paměť pro povely 16000 bitů.



Obr. 19 krokové pohony SilverPak 17CE a SilverPak 17T [4]

- **RAVEO**

- **Ezi - SERVO-BT**

- Krokový motor s budičem a s inkrementálním optickým snímačem,
- 8 uživatelských vstupů a 12 výstupů,
- možnost připojení sériové linky,
- kontrola nadproudu, pozice, rychlosti, teploty, přepětí a připojení,
- indikace pomocí LED.



Obr. 20 krokové pohony EZISERVO – BT. [3]

Výkonové jednotky	Napájecí napětí [V]	Amplituda a proud [A]	Nastavení proudu (počet)	Max. počet mikrokroků na celokrok	Moment motoru [N.m]
SilverPak 17CE	12 - 40	0,1 – 2	plynule	256	0,7
SilverPak 17T	12 - 40	0,1 – 1,5	plynule	16	0,7
Ezi-SERVO-BT-60M-x	24	4	plynule	50	1,28

Tab. 6 parametry jednotlivých pohonů

3.7 Zhodnocení pohonů od jednotlivých firem

3.7.1 Microcon

Jednotky od firmy Microcon patří mezi jednodušší návrhy řízení z hlediska realizace i z hlediska nároků na programování. Nabízí jak malovýkonné, tak vysokovýkonné moduly. Jejich výhodou je snadné a srozumitelné komunikační rozhraní, jednoduché zapojení. Řešení jednotek od firmy Microcon patří mezi finančně náročnější.

3.7.2 JMF

Jednotky od firmy JMF využívají kontroléru M1486 od firmy Microcon. Rovněž tato varianta přináší snadnou a spolehlivou realizaci. Jsou určeny i pro nejméně náročné uživatele. Jejich nevýhodou je finanční nákladnost.

3.7.3 CNCNET

Výkonové jednotky od firmy CNCNET lze zařadit mezi uživatelsky standardní výkonové moduly dostupné na internetu. Mají příznivý poměr výkon/cena. A jsou určeny i pro středně náročné aplikace.

3.7.4 CNCSHOP

Firma CNCSHOP nabízí širokou škálu výkonových jednotek pro krokové motory. Umožňují uživatelsky jednoduché a přitom technicky náročné nastavení jednotlivých parametrů pomocí programu. Mají příznivý poměr výkon/cena a jsou určeny i pro náročnější aplikace.

3.7.5 RMS Technologies

Firma nabízí špičkové technologie řídicích systémů a kompletních integrovaných řešení. Tomu odpovídají i ceny jejich produktů. Nabízí jak malovýkonné, tak vysokovýkonné jednotky. Umožňují snadné programové nastavení jednotlivých parametrů. Typické aplikace pro systémy RMS – sledovací kamery, robotika, zdravotnické pomůcky aj.

3.7.6 POLOLU

Hlavními produkty firmy POLOLU jsou malé elektronické systémy pro robotické aplikace. Proto jejich jednotky pro krokové pohony dosahují velmi malých rozměrů. Jejich výhodou je jednoduché zapojení a dobrý poměr výkon/cena.

3.7.7 RAVEO

Firma RAVEO nabízí širokou škálu kompletních integrovaných krokových pohonů. Jsou hlavně určeny pro aplikace, kde je vyžadovaný pohyb a polohování. Jejich výhodou je jednoduché zapojení a zapojení až 16 jednotek do pohonné sítě, které lze řídit pomocí PC s jednoduchým grafickým rozhraním.

4 Krokové motorky pro lékařské a klinické aplikace

V současné době mnoho lékařských zařízení využívá malých elektromotorků, například u manipulačních zařízení, jako jsou nemocniční lůžka, operační stoly, nosítka aj. Dále mohou být využity ve vysoce kvalitních čerpadlech, odstředivkách, u infuzních pump, kompresorů, zubních vrtaček, přesných chirurgických nástavcích atd.

Elektrické motory jsou také široce používány v zařízení zdravotní péče. Například u strojů na cvičení, invalidních vozíků, masážních přístrojů, terapeutických zařízení apod.

4.1 Elektrické motory a pohony

Nejdůležitějším aspektem při výběru motoru pro zdravotnické zařízení je použití bezjádrových motorů. To přináší řadu výhod, jako jsou například:

- odstranění těžkého feromagnetického jádra,
- snížení hmotnosti,
- nízká hlučnost,
- vysoký výkon a účinnost.

Motorky pro zdravotnické prostředky většinou vyžadují řízení v uzavřené smyčce. Například v typickém chirurgickém zařízení jako jsou vrtačky, kde zpětná vazba řídí otáčky motoru podle tlaku, který lékař vyvíjí. Pro zajištění větší soudružnosti, nebo aby stroj pronikl tam, kde lidské ruce nemohou, je nutné začlenit zpětnovazební zařízení do přístroje. To znamená, že celý servo systém (tj. motor, převodovka, zpětná vazba zařízení a mikroprocesor) se nachází v místě, kde je práce vykonávána a servo systém je připojen k hostitelskému systému pomocí několika vodičů. To přináší řadu výhod:

- menší počet drátů než v tradičních systémech,
- menší složitost zařízení,
- nižší cena.

Začlenění krokových motorů v lékařském průmyslu, umožnilo motorizaci v lékařských zařízeních, kde nebylo vhodné použití jiných druhů motorů, protože krokové motory disponují řadou výhod:

- Rychlost může být jednoduše určena a řízena,
- krokový motor může provádět jemný inkrementální pohyb,
- má schopnost velkého zrychlení,
- výborná momentová charakteristika na malých rychlostech bez použití převodovky,

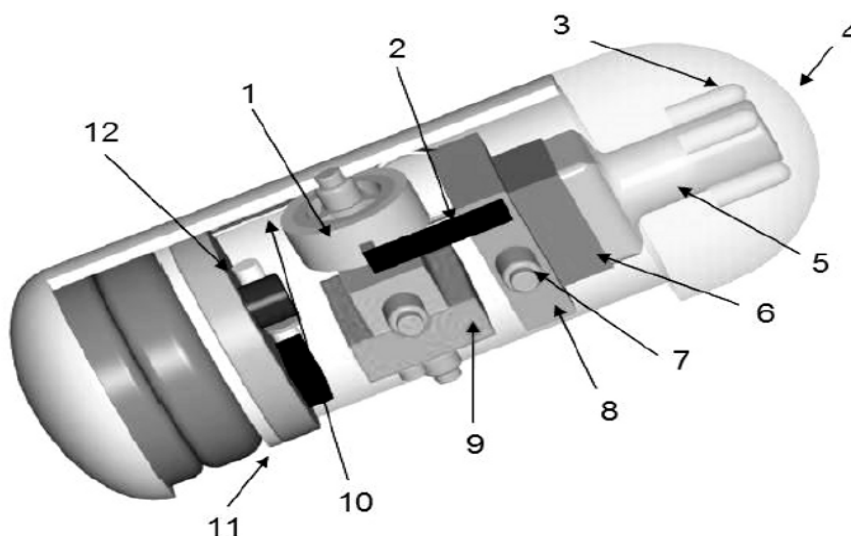
- přídržný moment krokového motoru může být použit k udržení zátěže ve stabilní poloze bez přehřívání,
- schopnost pracovat v širokém rozsahu rychlostí.

V následující kapitole se zaměříme na využití malých moderních krokových motorků pro zařízení:

- endoskopické kapsle,
- chirurgické nástroje a roboty,
- masážní přístroje a terapeutické zařízení.

4.2 Kapsle pro endoskopii

Kapsle pro endoskopii pomáhá vyhodnotit lékařům stav tenkého střeva. Tato část střeva nemůže být dosažena tradiční horní endoskopií nebo kolonoskopií. Proto se nejčastěji při hledání příčin krvácení tenkého střeva užívá této kapsle. Ta může být užitečná k detekci polypů, zánětlivého onemocnění střev, vředů a nádorů na tenkém střevě.

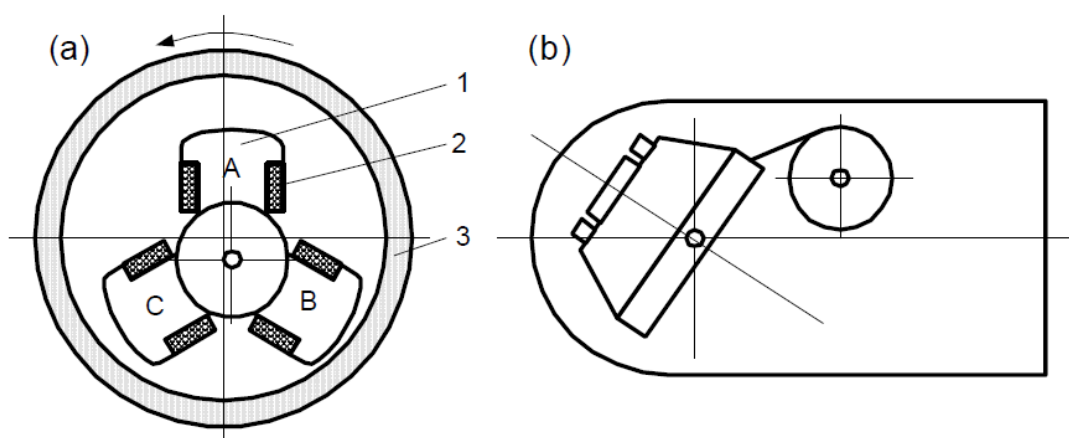


Obr. 21 intrakorpórní video sonda [10]

kde,

1 – Q – PEM Motorek (krokový motorek), 2 – Hřídel, 3 – LED osvětlení, 4 – Průhledný kryt, 5 – Optika, 6 – CMOS senzor, 7 – Fixační bod, 8 – Snímací čip kamery, 9 – Lokalizační čip, 10 – Elektrické dráty, 11 – Baterie, 12 – Čip pro přenos dat.

Snímky pořízené kamerou jsou přenášeny na řadu senzorů připojené k trupu pacienta a zaznamenány digitálně na záznamovací zařízení.



Obr. 22 mechanismus motorku a kamery [10]

kde,

a) Průřez motoru b) Kamerový mechanismus;

1 – Jádru statoru 2 – Cívky statoru 3 – Rotor

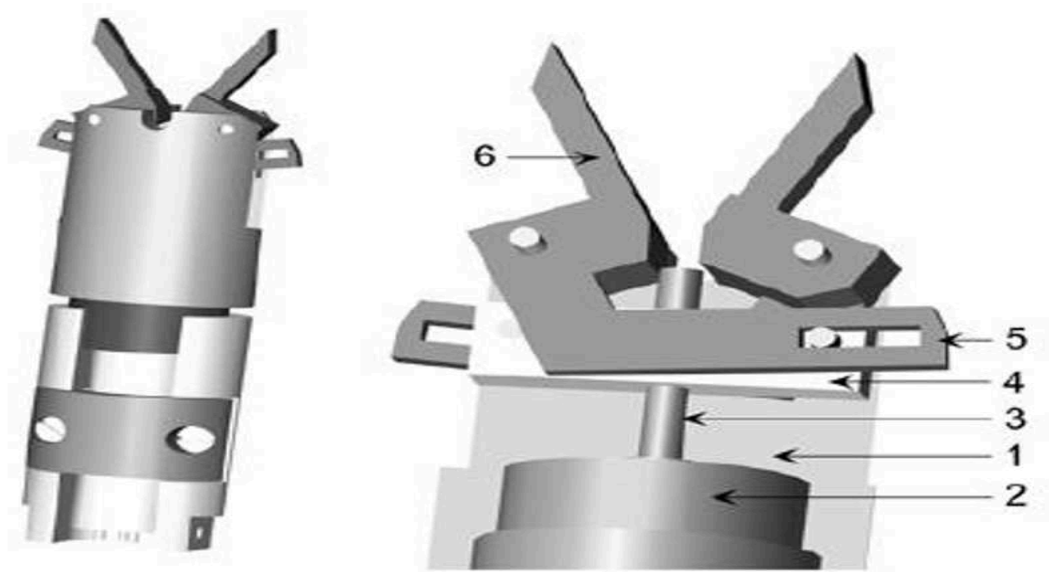
4.2.1 Princip činnosti

Při průchodu kapsle trávicím traktem krokový motor otáčí kameru tak, aby umožňoval pořizovat snímky ze všech úhlů. Kapsle se vyznačuje dvojitou strukturou tvořenou vnější a vnitřní kapslí. Vzhledem k tomu, že vnější část prochází trávicím traktem, vnitřní část kapsle se sama točí. Otáčení zajišťuje malý krokový motorek s krokovým úhlem $7,5^\circ$. Toto posílení rotace je nutné, aby se zabránilo rozmazání snímků. Za 8 hodin dokáže kapsle pořídit až 870 000 fotografií.

4.3 Robotická chirurgie

4.3.1 Laparoskopická chirurgie

Je moderní operační technika, která probíhá v oblasti břicha a provádí se malými řezy o délce 5 až 15 mm. Laparoskop používající se v břišní chirurgii je klíčovým nástrojem, který se skládá z teleskopické tyče. V robotické chirurgii existuje celá řada nástrojů, které lze k teleskopické tyči přidat: kleště, různé typy chapadel, nůžky, sešíváčky, jehelce a mnoho jiných. Nástroje jsou spojené s konci robotického ramene, které pak vykonávají potřebnou práci. Typickými požadavky kladenými na nástroje jsou maximální průměr 5mm, minimální přilnavost 5N, maximální zavírací doba chapadla 2 sekundy.



Obr. 23 motorizované chapadlo s rotačním motorkem [10]

kde,

1 – Rám chapadla, 2 – motorek, 3 – spojka, 4 – převodovka s převodem 1:500, 5 – rameno páky, 6 – chapadla.



Obr. 24 ramena robota v laparoskopické chirurgii

4.4 Terapeutické zařízení

4.4.1 CMP Terapie pomocí motodlahy

CMP Terapie je zkratka pro „Continuous Passive Motion“. Tento pojem vyjadřuje plynulou pasivní pohybovou léčbu kloubů končetin za použití motorové dlahy. Léčebná rehabilitace pomocí motodlah slouží především k zamezení poškození v důsledku imobilizace, včasnému obnovení nebolestivého pohybu kloubů a urychlení průběhu terapie s dobrým funkčním výsledkem. Jedná se zejména o léčbu kolenních kloubů, kyčlí, ramene, loketních kloubů, prstů a zápěstí. [9]

V oblasti motorů se jedná o řízení pohybu ve vymezené dráze, kde řízení motoru musí splňovat požadované nároky pro danou léčbu. Jako jsou například:

- zaručit anatomicky správný pohyb končetin,
- plynulé nastavení rychlosti,
- maximální rozsah pohybu dané končetiny,
- speciální programy.



Obr. 25 příklady motodlahy firmy Artromot [9]

5 Využití krokových motorů ve strojírenském průmyslu

Krokové pohony mají široké uplatnění v mnoha oblastech technické praxe - od jednoduchých regulátorů otáček až po souřadnicové řízení polohy např. u obráběcích strojů a všude tam, kde je nutné přesně definovat poměr mezi číslicovým řídicím signálem a mechanickým pohybem.

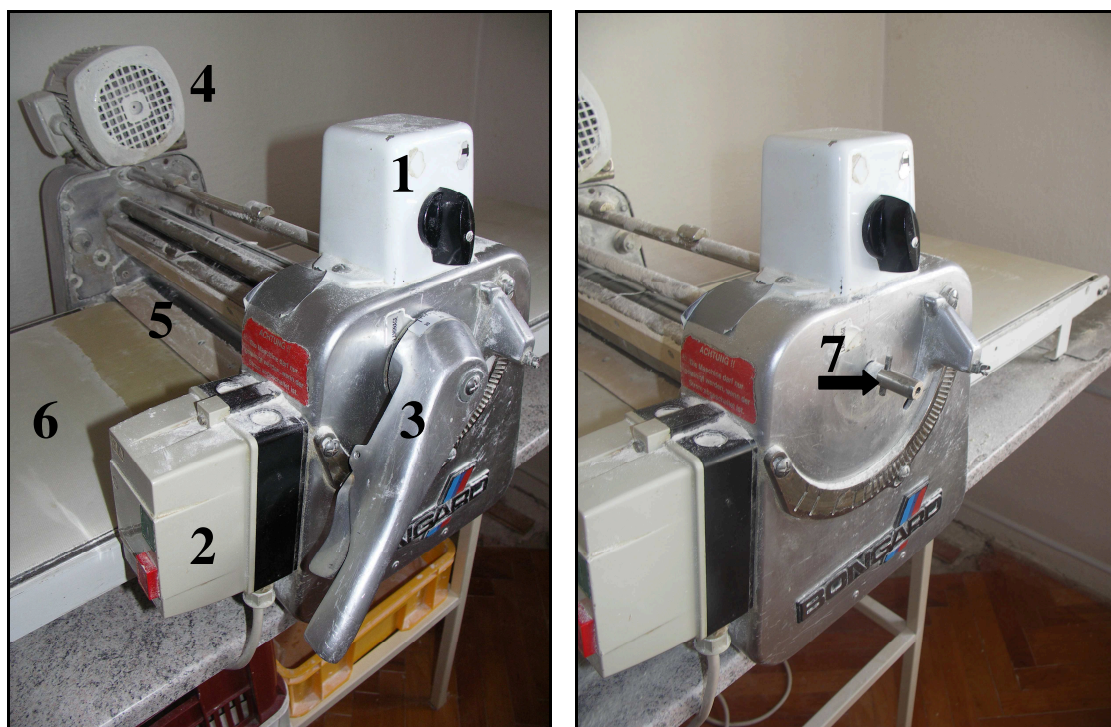
5.1 Řízení polohy válce pomocí krokového pohonu

Dále se budu zabývat konkrétní aplikací využití krokových pohonů. Bude se jednat o řízení polohy válce linky pohybující se ve svislé rovině. Pohyb válce musí být závislý na směru otáčení pásů pohybujících se v horizontální rovině. Pásky jsou poháněné asynchronním motorem (viz obr. 6). Linka může sloužit pro válcování těsta.



Obr. 26 linka, kde bude provedena automatizace pomocí krokového pohonu

5.2 Popis zařízení

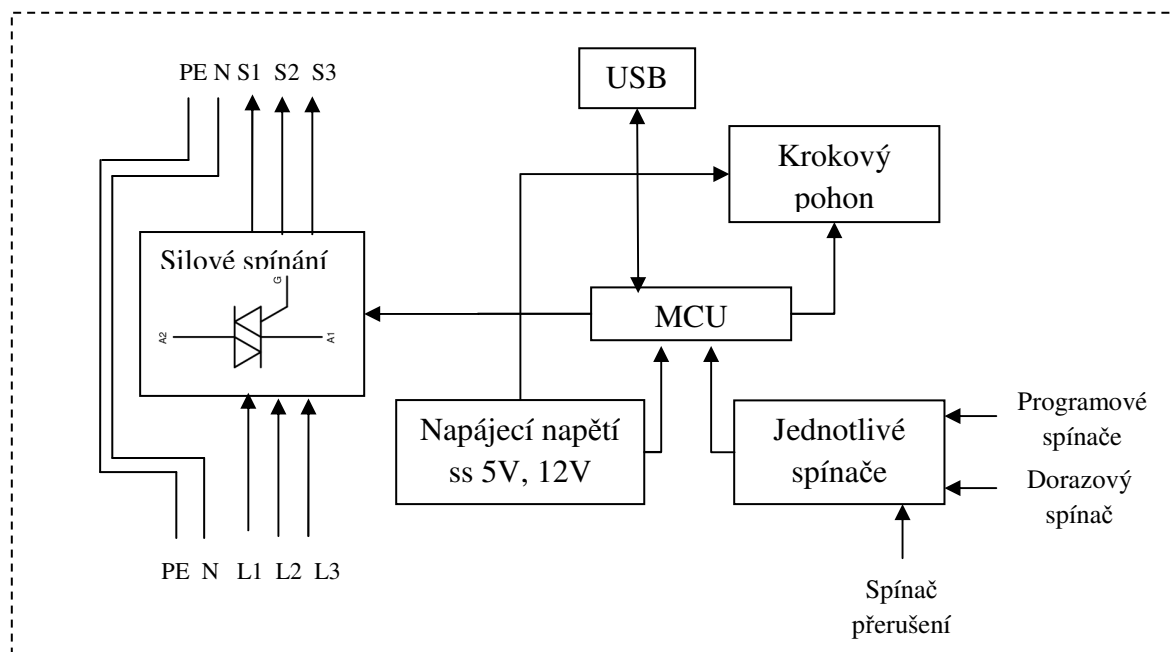


Obr. 27 popis linky

1 – Silové spínání směru motoru, 2 – Zapínání, vypínání motoru, 3 – Ruční ovládání polohy válce, 4 – Asynchronní motor, 5 – Válec, 6 – Pásky, 7 – Hřídel, na kterou bude implementován krokový pohon.

5.3 Návrh hardware

Na obr. 28 je znázorněn návrh blokového schéma pro řízení asynchronního a krokového motoru. Protože se jedná o asynchronní motor s malým výkonem, je spouštěn přímým připojením k spínací části jednotky.



Obr. 28 Blokové schéma návrhu hardware

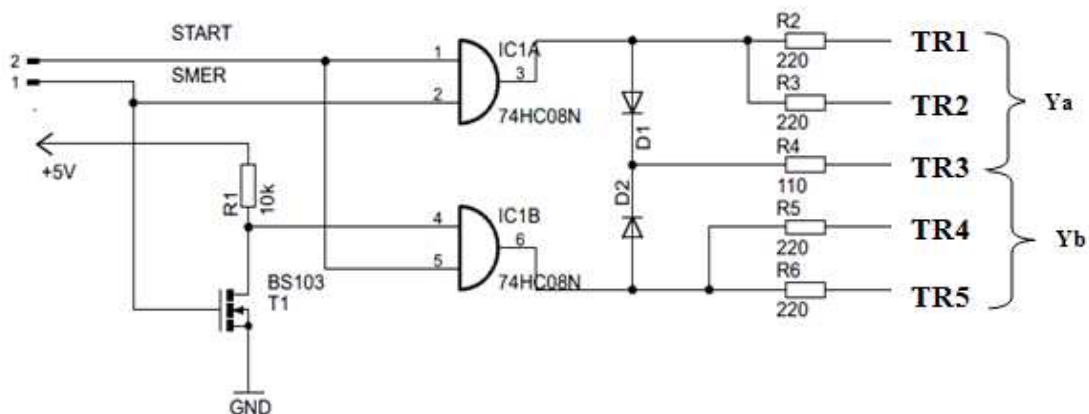
5.4 Silové spínání

Spínání motoru a také změna jeho směru byla doposud řešena silovým přepínačem metodou reverzace motoru (viz obr. 7 odr. 1), kde reverzace motoru byla provedena prohozením dvou vstupních fází.

Protože je nutné zajistit synchronizaci mezi řízením směru pásů (asynchronního motoru) a řízením válce (krokového motoru), bylo zapotřebí řídit asynchronní motor pomocí mikroprocesoru.

Jako výkonový spínací prvek jsem zvolil triak se spínáním v nule BTA 140 – 800. Který je určen pro maximální vstupní napětí 800V a dokáže spínat proudy o velikosti 25A. Pro navrženou jednotku je dostačující chlazení přirozené.

Mikroprocesorem jsou generovány dva vstupní signály *Start* a *Směr*. Tyto signály jsou přivedeny na vstupy hradel NAND. Logické signály z výstupu hradel jsou pak přes příslušné optotriaky MOC3062 přivedeny na jednotlivé triaky, přičemž pro každý směr jsou sepnuté právě tři triaky. [8]



Obr. 29 zapojení pro spínání triaků pomocí logických členů NAND¹

START	SMER	Ya	Yb
0	0	0	0
0	1	0	0
1	0	0	1
1	1	1	0

Tab. 7 Pravdivostní tabulka zapojení

¹ Schéma zapojení převzato z [8]

5.5 Mikroprocesor

V dnešní době existuje celá řada mikroprocesorů. Protože se motory – asynchronní i krokový budou spínat v určitých časových intervalech a nejedná se o náročné aplikace, zvolil jsem univerzální MCU, který je součástí vývojové desky s názvem ARDUINO UNO.

Základní vlastnosti vývojové desky ARDUINO UNO

Procesor:

- Atmel ATMega328,
- frekvence 16 MHz,
- 32kB flash paměť,
- 2kB SRAM paměť,
- 1kB EEPROM paměť,

Komunikační rozhraní:

- USB.

Napájení:

- 5V USB,
- 7 – 12V adaptér.

I/O piny:

- 14 digitálních,
- 6 analogových vstupů.

Programovací jazyk:

- Wiring s processing IDE.

5.6 Volba výkonové jednotky

Technická dokonalost ovladače závisí nejen na funkční náročnosti aplikace, ale i na požadavcích na parametry krokového motoru. Ovladač musí v každém případě splnit požadavky:

- zajistit jmenovitou hodnotu proudu v sepnuté fázi krokového motoru,
- vytvořit předepsanou časovou posloupnost buzení fázi motoru,
- ochrana proti zkratu,
- ochrana proti přehřátí.

V aplikacích, kde může dojít k porušení kabelu, je výhodou ochrana proti zkratu. Náhodné spojení vývodů motoru nesmí způsobit zničení motoru.

Zvolil jsem výkonovou jednotku od firmy POLOLU A4988 (viz kap. 2.3).

Volba této jednotky umožňuje realizovat jednoduché zapojení. Její výhodou je dobrý poměr výkon/cena.

5.7 Návrh krokového motoru, pružné spojky a převodovky

Při rozhodování, jaký je vhodný krokový pohon pro danou aplikaci, musíme brát v úvahu obecné vlastnosti krokových motorů. Jako vstupní informace pro dimenzování krokového motoru bychom měli znát:

- zátěžový moment – redukováný na hřídel motoru,
- moment setrvačnosti zátěže – redukováný na hřídel krokového motoru,
- velikost kroku,
- pracovní kmitočet motoru,
- způsob řízení.

Jako doplňková hlediska je třeba uvážit:

- zda vyhovují rozměry a hmotnost motoru,
- požadavky na mechanickou odolnost,
- technická doba - životnost.

Zátěžový moment

Pro určení vhodného krokového motoru je nutné znát jeho krouticí moment v Nm. Zátěžový moment jsem určil empirickou metodou pomocí závaží na ramenu upevněném na hřídeli poháněného zařízení.

Výpočet statického momentu:

$$M_z = F \cdot r [Nm] \quad (5.7)$$

$$M_z = 30 \cdot 0,2 = 6 [Nm]$$

Kde,

M – Moment,

F – Síla,

r – Rameno.

Moment setrvačnosti zátěže J_z

$$J_z = \frac{m \cdot r^2}{2} [kg.m^2; kg, m] \quad (5.7.1)$$

$$J_z = \frac{3 \cdot 0,035^2}{2} = 1,8 \cdot 10^{-3} [kg.m^2; kg, m]$$

Kde,

m – hmotnost válce,

r – poloměr podstavy válce.

Pohybová rovnice pohonu

$$M_h = M_z + M_d [N.m] \quad (5.7.2)$$

Kde,

M_h – hnací moment, tedy moment od motoru, kterým se musí překonat třecí zatížení poháněného systému. Rozbíhat a zastavovat všechny setrvačné hmoty včetně vlastního rotoru

M_z – zátěžový moment představuje součet zátěžových momentů od poháněného systému redukováných na hřídel motoru.

M_d – dynamický moment, zahrnuje dynamický moment setrvačnosti zátěže redukovaných na hřídel motoru a od momentu setrvačnosti rotoru motoru.

Celkový moment, který musí motor vyvinout se rovná součtu momentů potřebných na:

- a) zrychlení závaží,
- c) zrychlení rotoru motoru,
- d) zvednutí závaží.

Ekvivalentní moment setrvačnosti závaží

$$J_{ekv} = m \cdot r^2 [kg \cdot m^2; kg, m] \quad (5.7.3)$$

$$J_{ekv} = 3 \cdot 0,035^2 = 0,0036 [kg \cdot m^2; kg, m]$$

Celkový setrvačný moment

$$J_{celk} = J_{rot} + J_{ekv} + J_z = 0,00003 + 0,0036 + 0,0018 = 5,4 \cdot 10^{-3} [kg \cdot m^2; kg, m] \quad (5.7.4)$$

Kde,

J_{rot} – setrvačný moment rotoru (viz kap. 5.7.1),

J_{ekv} – (viz rovn. 5.4.3),

J_z – (viz rovn. 5.4.1).

Dynamický moment

$$M_d = J_{celk} \cdot \frac{\omega}{t} \cdot \frac{\pi \cdot \alpha}{180} [N \cdot m] \quad (5.7.5)$$

$$M_d = 5,4 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{1500}{0,1} \cdot \frac{\pi \cdot 0,225}{180} = 0,031 [N \cdot m]$$

Kde,

J_{celk} – celkový setrvačný moment (viz rovn. 5.4.4),

ω - úhlová rychlost,

t – doba rozběhu,

α – velikost kroku s dělením kroku $1/8[^\circ]$.

Celkový potřebný hnací moment

$$M_h = 6 + 0,031 = 6,031 [N \cdot m]$$

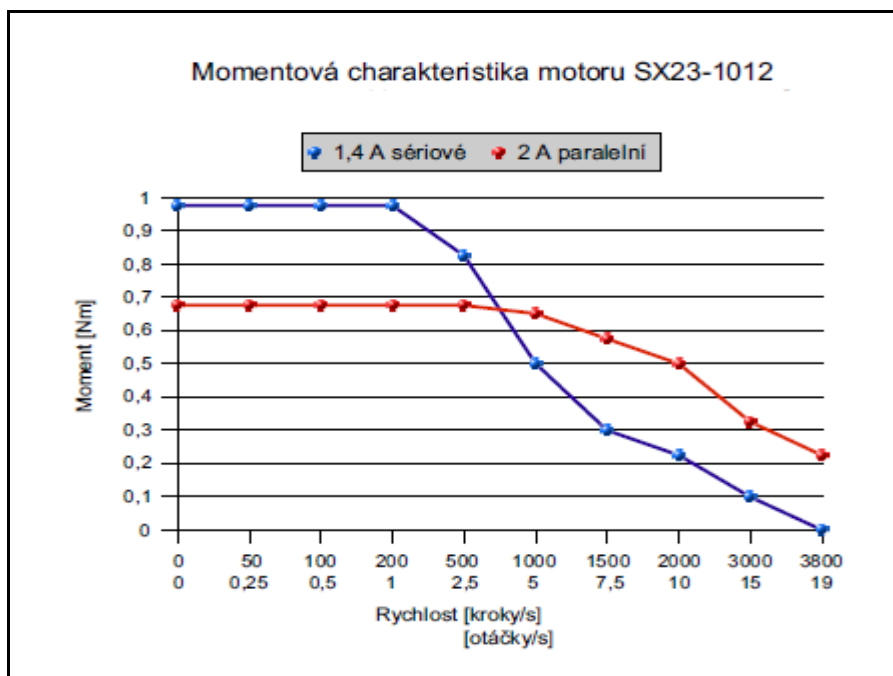
5.7.1 Volba krokového motoru, pružné spojky a převodovky

Výběr krokového motoru jsem provedl se spoluprací firmou Microcon. Typovou velikost krokového motoru jsem určil z rozběhových charakteristik. Zvolený krokový motor má označení SX23–1012 parametry viz Tab. 8.

Parametry:

Statický moment [Nm]	Jmenovitý Proud [A]	Indukčnost [mH]	Odpor [Ω]	Moment setrvačnosti rotoru ($\text{kgm}^2 \times 10^{-3}$)	Hmotnost [kg]	Velikost kroku [$^\circ$]
1,2	2	5	1,8	0,03	0,7	1,8

Tab. 8 Parametry motoru SX23-1012 při paralelním zapojení



Obr. 30 momentová charakteristika zvoleného motoru

5.7.2 Pružná spojka

Pružná spojka HUCO byla zvolena typu Oldham XY41 se špičkovým momentem až 17 Nm. Spojka se skládá ze dvou hlavic a plastového středu. Spojky volně kompenzují případné nesouososti při minimálním zatížení ložisek motoru. Tlumí hluk, vibrace a rezonance.

5.7.3 Převodovka

Převodovka byla zvolena šneková MRTK 30A - i60 od firmy TOS ZNOJMO a to z důvodů:

- velký převodový poměr,
- bezhlučný provoz,
- vysoká zatížitelnost,
- samosvornost,
- snadná integrace do konstrukce stroje.

Pro určení vhodné převodovky je třeba znát následující data:

- vstupní a výstupní otáčky určující převodový poměr,
- požadovaný krouticí moment M (6,031Nm), popřípadě vstupní výkon P_1 potřebný k pohonu zařízení.

Jmenovité výkony převodovky:

$n_1 [\text{min}^{-1}]$	i	$n_2 [\text{min}^{-1}]$	$M_2 [\text{Nm}]$	$P_1 [\text{kW}]$	$\eta [\%]$
2800	60	47	13	0,14	46
1400	60	23	16	0,09	45
900	60	15	18	0,06	44
500	60	8	23	0,04	42

Tab. 9 Parametry převodovky MRT 30A - i60

Vstupní výkon motoru:

$$P = \frac{M \cdot n}{9550} = \frac{0,6 \cdot 1500}{9550} = 0,094 [\text{kW}] \quad (5.4.6)$$

Krouticí moment, který máme k dispozici na výstupní hřídeli převodovky:

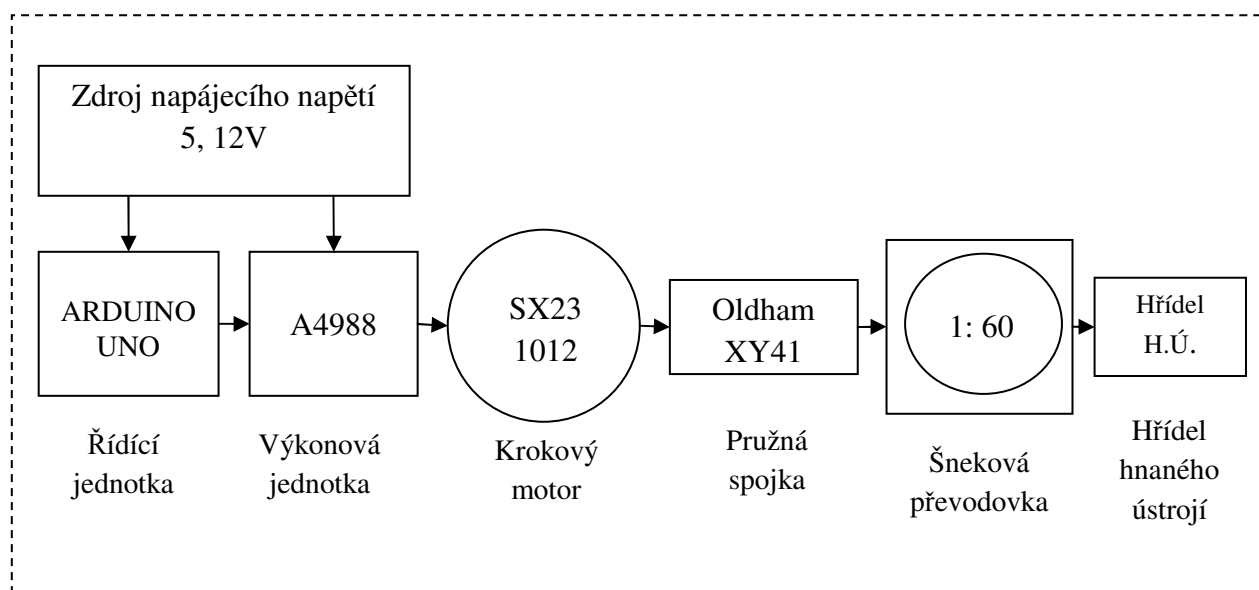
$$M_2 = \frac{9550 \cdot P_1 \cdot \eta \cdot i}{100 \cdot n_1} = \frac{9550 \cdot 0,094 \cdot 45 \cdot 60}{100 \cdot 1500} = 16,2 [Nm] \quad (5.4.7)$$

Kde,

P – vstupní výkon motoru, n – vstupní otáčky, M_2 – výstupní moment, i - převodový poměr, η - účinnost převodovky

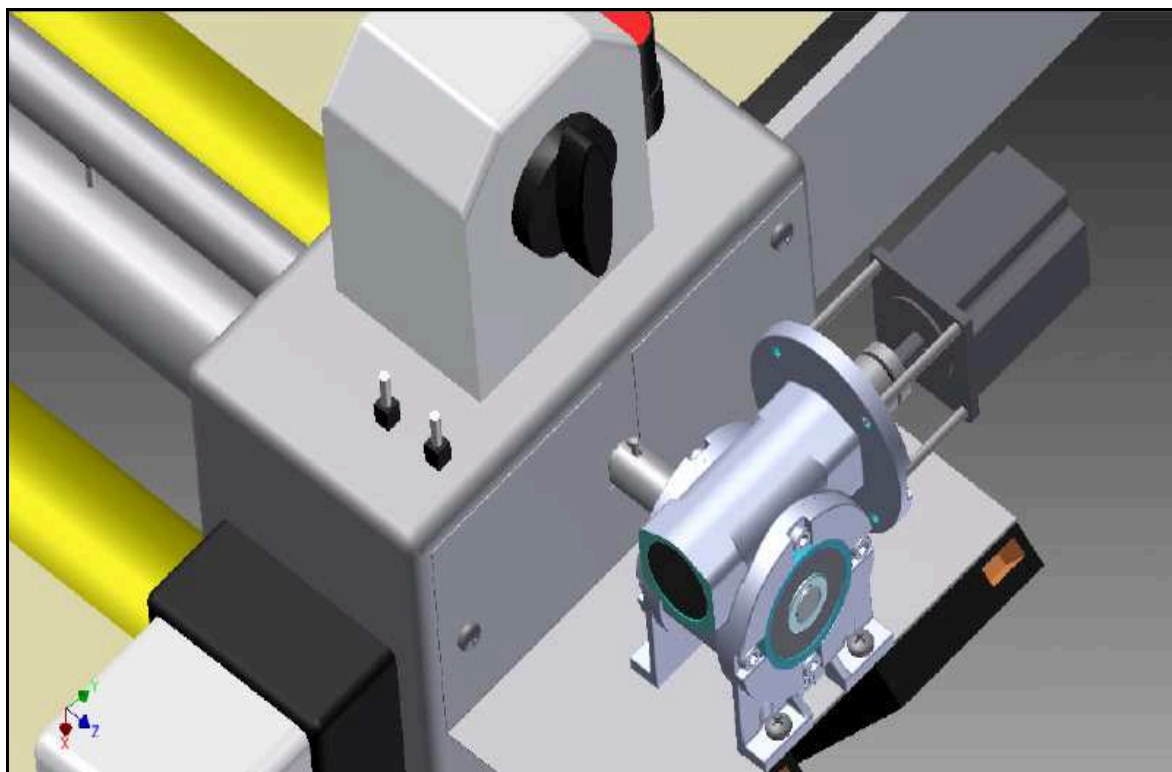
Důležitým aspektem je samosvornost. V této aplikaci je nutné, aby hřídel hnacího ústrojí držela výstupní moment bez napájecího napětí. Vzhledem k tomu že se bude jednat, o řízení válce v poměrně krátké dráze, není třeba pracovat s vysokými otáčkami, a proto jsem zvolil převodovku s převodem $i = 1:60$.

Schéma navrženého kompletního hnacího ústrojí:

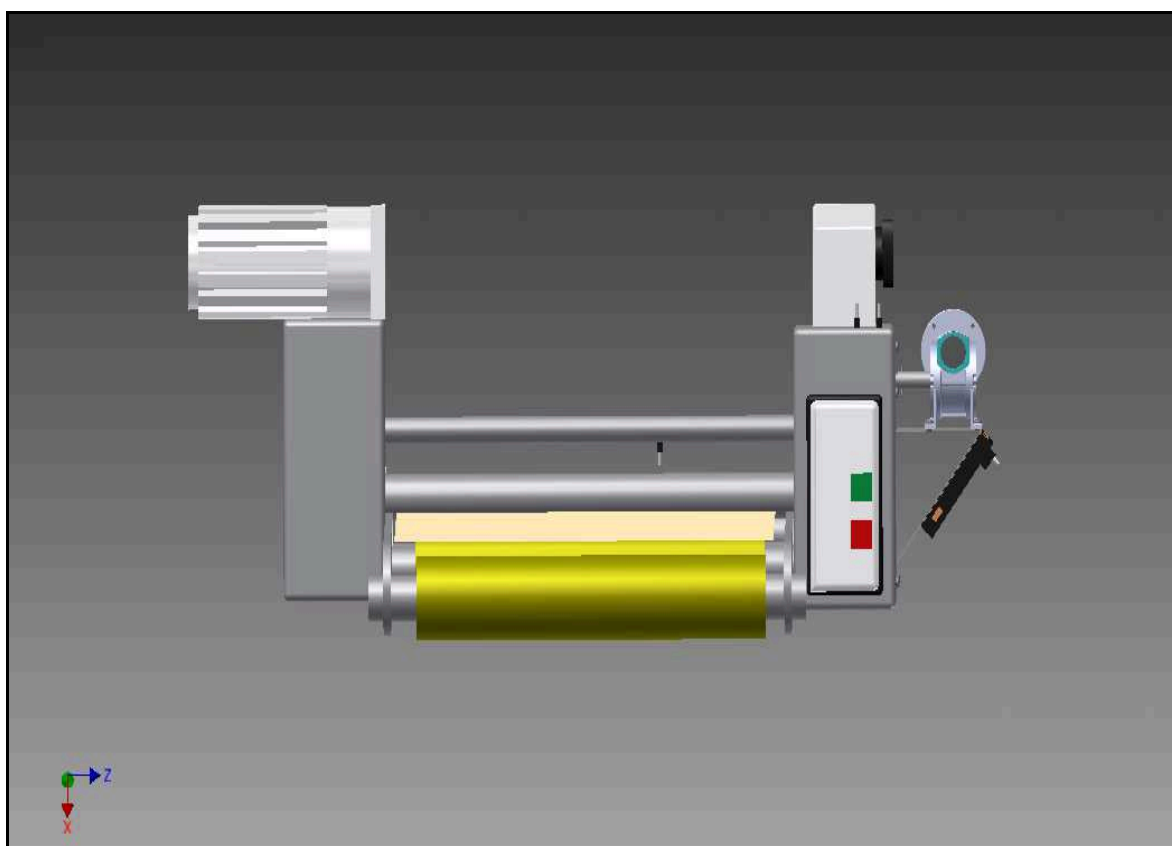


Obr. 31 blokové schéma s jednotlivými prvky hnacího ústrojí

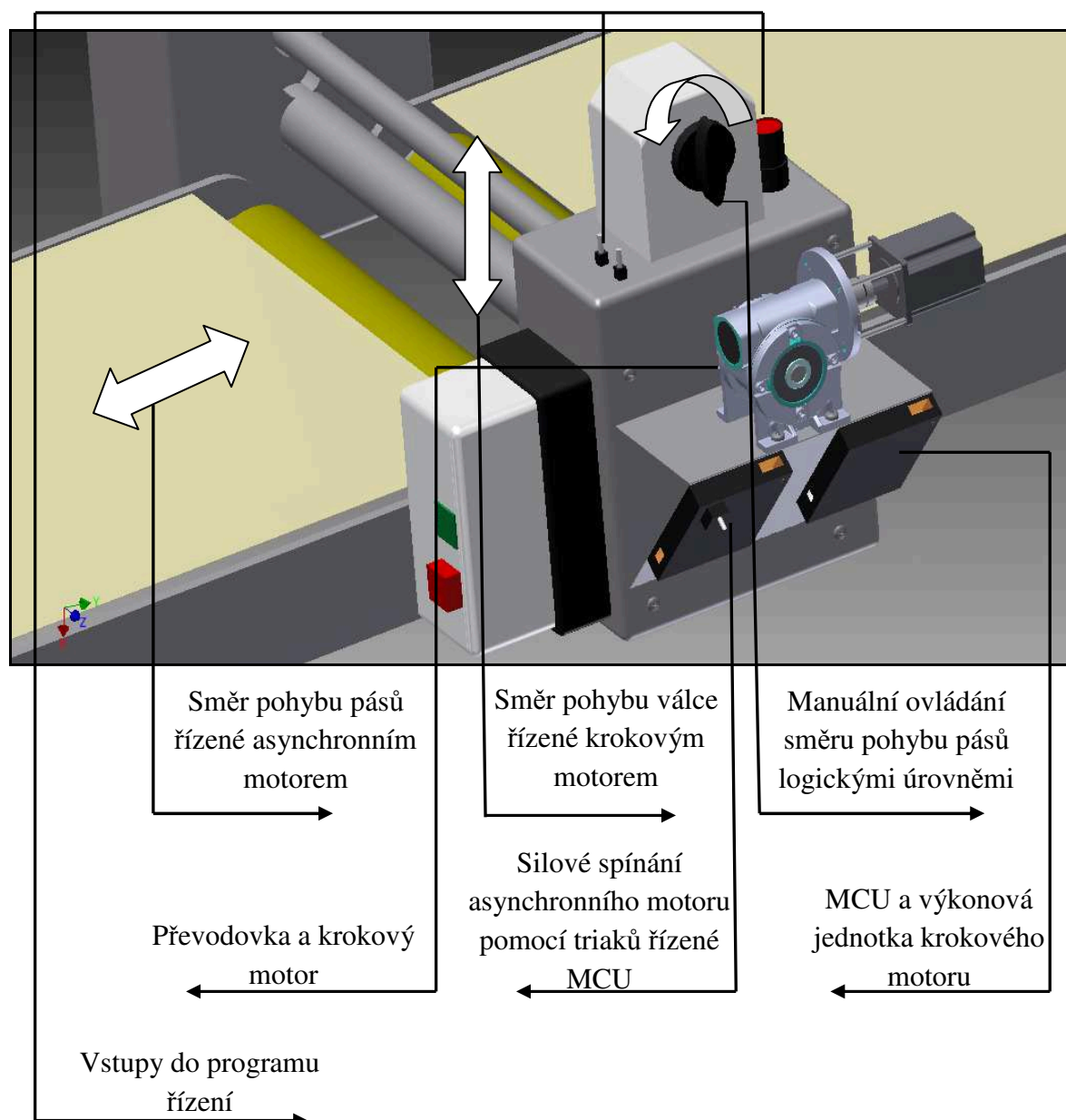
5.8 Vizualizační návrh celého ústrojí



Obr.32 3D model v programu Autodesk Inventor 2011



Obr.33 3D model v programu Autodesk Inventor 2011



Obr. 34 3D model v programu Autodesk Inventor 2011(popis návrhu)

6 Návrh řídicího software

Při návrhu software, tedy řízení celého stroje, je nutné vycházet z požadavků na obsluhu. Požadavky jsem rozdělil do dvou hlavních částí:

1. řízení směru pásů,
2. řízení polohy válce.

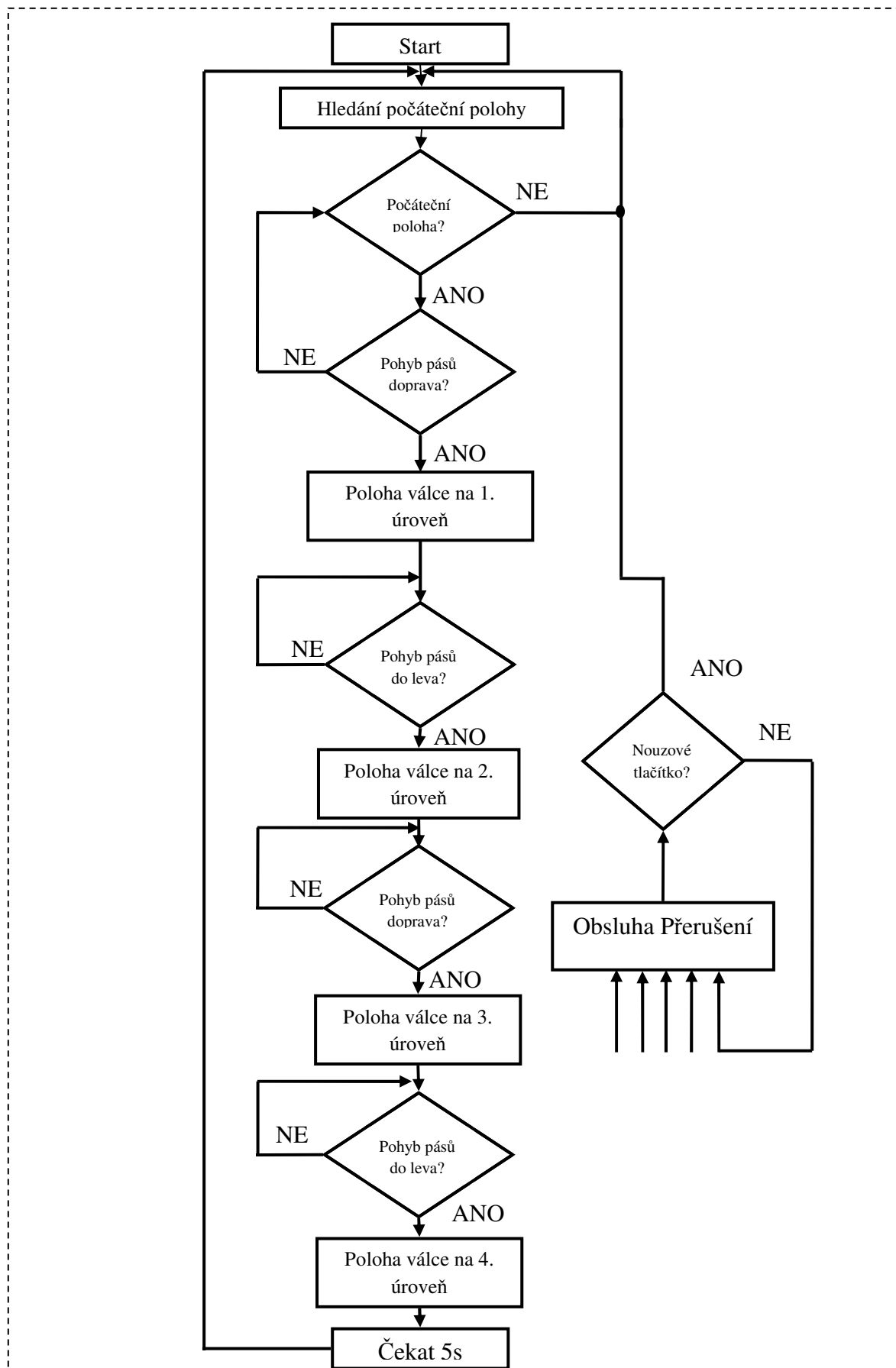
Ad 1) - Řízení je nutné rozdělit na dva režimy:

- manuální režim, kde doba a směr pohybu pásů bude řízena uživatelem,
- automatický režim, kde pásy budou řízeny automaticky podle předem definovaného algoritmu.

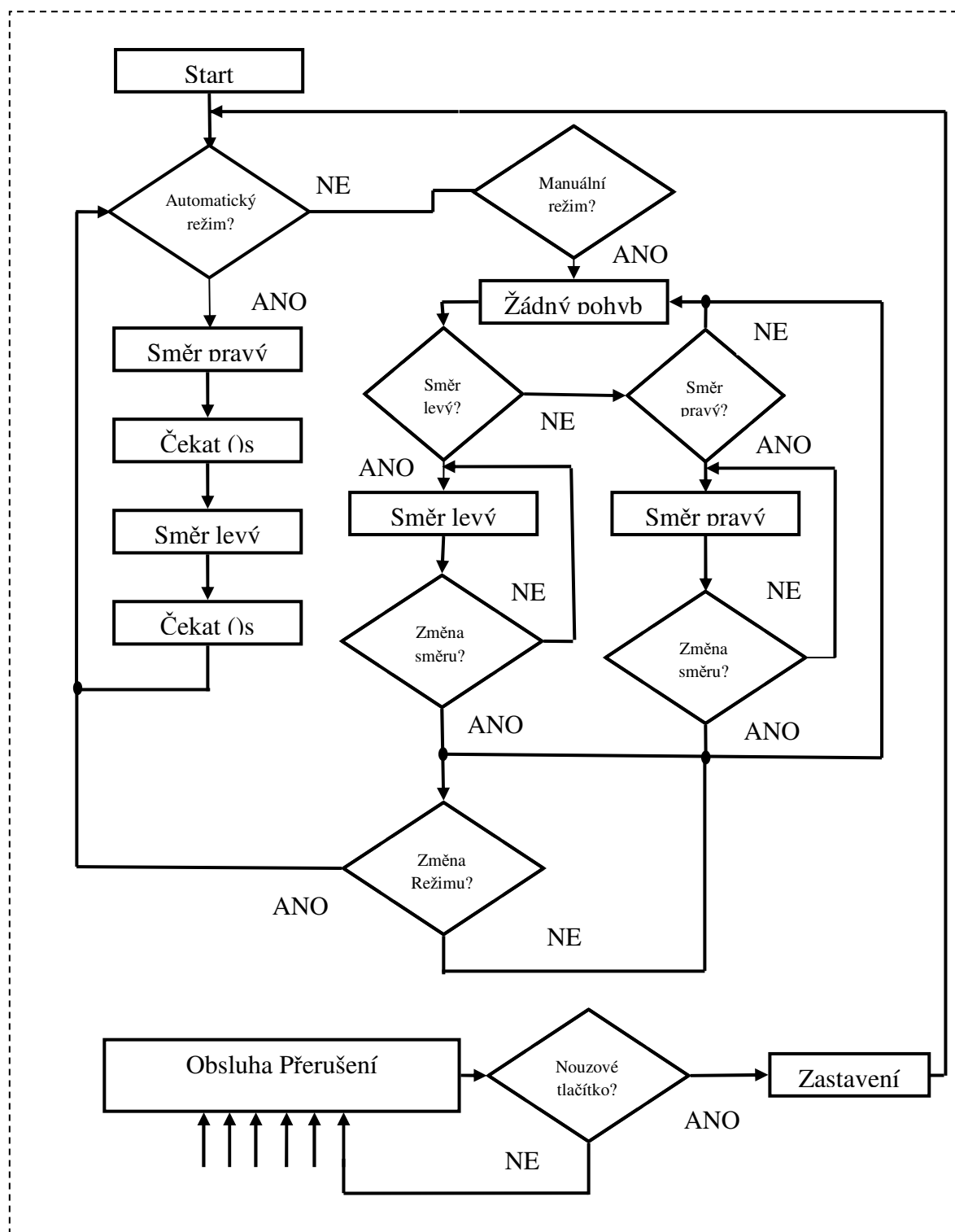
Ad 2) – Musí být závislé na směru otáčení pásů a musí mít k dispozici dva režimy volby programu, kde každý program bude řídit krokový motor s jiným počtem kroků.

- Každý program musí umožnit nastavení polohy ve čtyřech úrovních.
- Úrovně se mění automaticky se směrem otáčení pásů.
- Na konci každého cyklu návrat do původní polohy.
- Možnost přerušení.

6.1 Vývojový diagram pro řízení krokového motoru



6.2 Vývojový diagram pro řízení asynchronního motoru



7 Závěr:

Zadání mé diplomové práce bylo rozděleno do tří hlavních bodů. V první části diplomové práce popisují základní pojmy krokových pohonů, které je třeba znát pro jejich návrh a dimenzování. Dále jsem vypracoval stručnou rešerši dostupných pohonů z internetových stránek. Popisují pohonné jednotky od firem: Microcon, JMF, RMS Technologies, Pololu, CNCNET, CNCSHOP a Raveo. Jednotlivé firmy nabízejí širokou škálu pohonů určených pro různé typy aplikací. Při výběru pohonu pak už záleží na uživateli, jakou pohonnou jednotku zvolí pro danou aplikaci. V této souvislosti je však třeba uvážit i ekonomické parametry pohonu. Kvalita pohonu bývá, ale nemusí být vždy úměrná ceně. Nemá smysl používat špičkové jednotky pro řízení krokových motorů na triviální aplikace a naopak, když se jedná o průmyslové použití, je třeba uvážit pohonné jednotky se speciálními vlastnostmi. V další části diplomové práce se zabývám využitím krokových pohonů v lékařské elektronice. Krokové motory disponují řadou výhod (viz. kap. 4.1) a díky integraci krokových ovladačů se jejich využití v lékařském průmyslu značně rozvíjí. Jako například v chirurgických zařízeních (endoskopická kapsle nebo laparoskopická chirurgie) nebo v terapeutických zařízeních (motodlahy - pro plynulý pasivní pohyb kloubů končetin). Stěžejní částí práce bylo navrhnout realizaci strojního zařízení s vybranou pohonnou jednotkou a krokovým motorem. Pro tento účel jsem si vybral aplikaci, ve které se jedná o implementování krokového pohonu na hřídel, pro řízení polohy válce linky, která může sloužit pro válcování těsta (viz. kap. 5). Poloha válce byla doposud řešena ručním ovládáním. Při návrhu pohonu jsem musel využít převodovky, neboť zátěžový moment válce dosahuje vysokých hodnot (viz. kap. 5.7,) a řešení bez převodovky by bylo realizačně a ekonomicky náročnější. Výkonovou jednotku jsem si zvolil od firmy Pololu A4988 (viz. kap. 5.6) a řídicí jednotku Arduino Uno s procesorem Atmel ATmega 328 (viz. kap. 5.5). Při návrhu software (řízení celého stroje) (viz. kap. 6) jsem musel vycházet z požadavků obsluhy linky. Dále bylo nutné zajistit synchronizaci mezi řízením krokového motoru a řízením asynchronního motoru.

Na základě výpočtů a návrhu jsem pohonnou jednotku realizoval a je plně funkční pro řízení polohy válce podle naprogramovaného algoritmu.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] CNCSHOP [online]. Drivery pro KM 2f. *CNCSHOP* ND [cit. 2012-3-22]. Dostupný z WWW: http://www.cncshop.cz/drivery-pro-km_c
- [2] JMF [online]. *JMF*, ND [cit. 2012-1-22]. Dostupný z WWW: <http://www.jmf.cz/>
- [3] Raveo [online]. Krokové motory. *Raveo*, ND [cit. 2011-12-6]. Dostupný z WWW: <http://www.raveo.cz/krokovy-motor>
- [4] RMS Technologies [online]. *RMS*, ND [cit. 2011-11-19]. Dostupný z WWW: http://www.rmsmotion.com/ecart/view_category.aspx
- [5] Pololu Robotics & Electronics [online]. Motor Drivers. *Pololu* ND [cit. 2012-1-12] Dostupný z WWW: <http://www.pololu.com/catalog/category/11>
- [6] RUIDER, P. *Krokové motory*. Náchod: ZSE MEZ, 1985 [cit. 2012-4-12].
- [7] Microcon [online]. *Microcon*, ND [cit. 20012-11-4]. Dostupný z WWW: <http://www.microcon.cz/>
- [8] Bureš, P. *Elektronická jednotka pro řízení pohonu kostelních zvonů*, 2009. Diplomová práce, VUT Brno, kap. 4.2 silové spínání [cit. 20011-12-12].
- [9] Motodlahy. Katalog. *Artromot*, [online]. 2010 [cit. 2012-4-12]. Dostupný z WWW: <http://ebookbrowse.com/katalog-artromot-2010-nahled-pdf-d243427722>
- [10] GIERAS, J. *Electric motors for medical and clinical applications*. [online]. 2008 [cit. 2012-3-25] Dostupný z WWW: <http://www.springerlink.com/content/978-1-4020-9006-6/#section=230733&page=1&locus=0>
- [11] Friedl, F. *Řízení otáček krokového motoru*, 2008. Bakalářská práce, VUT Brno. [cit. 2012-3-25]

- [12] Struktury s KM [online]. *Mechatronické systémy s krokovými motory*, FEI VSB, ND, [cit. 2012-2-25] Dostupný z WWW:
http://www.fei1.vsb.cz/kat430/data/mech/prednasky/MS_struktury%20s%20KM.pdf
- [13] ARDUINO [online]. *Arduino Uno*, ND, [cit. 2012-1-22]
Dostupný z WWW: <http://arduino.cc/en/Main/ArduinoBoardUno>
- [14] CNCNET [online]. *CNCNET* ND [cit. 2012-3-22]. Dostupný z WWW:
<http://www.cncnet.info/>

SEZNAM PŘÍLOH

A1 – Obvodové zapojení silového spínání

A2 – Deska plošného spoje s.s.

A3 – Osazovací plán s.s.

A4 – Seznam součástek s.s.

B1 – Zapojení výkonové jednotky

C1 – Fotografie realizace

D1 – Zdrojový soubor